白枕鹤的呼吸系统及其生态适应

王岐山　　秦在贤　　赵瑞珠
（安徽大学生物系）　　（安徽教育学院生物系）　　（安徽大学生物系）

摘　要

白枕鹤的呼吸系统由喉头、气管、鸣管、肺及气囊组成。喉头有淋巴小结分布。气管在龙骨突起内盘旋，并随年龄而增长，软骨环逐渐骨化。鸣管由左右两个支气管特化而成，呈膜状扁管入肺。肺的长度约占躯干的1/2。气囊几遍布全身，高度发达。整个呼吸系统的结构，与其高空飞翔生活相适应。

关键词：白枕鹤，呼吸系统，鸣管，气囊

我国鹤类的研究和保护工作，已蓬勃开展。然而，关于鹤类的解剖工作，国内报道甚少。近年来，我们对国家Ⅱ级保护动物白枕鹤（*Grus vipio* Pallas）进行了解剖学和组织学观察。现将呼吸系统的形态结构及其与飞翔生活的适应特点报道如下。

材 料 和 方 法

白枕鹤标本4只，其中幼年♀♂性各1只，成年♂性2只。均为合肥逍遥津动物园所饲养，因故死亡后立即进行测量、解剖、观察和取材的。组织学材料分别用Bouin氏液、Zenker氏液及Formalin液固定，切片分别用H.E、Mallory、Heidenhain Azan、Weigert染色，用以显示各种细微结构。其中1♂成体（全长1170毫米，体重4800克）以赛璐珞作为冷填充剂，在浓盐酸中浸泡冲洗后，制成铸型标本，观察气囊的形态及分布。

结　　果

1.喉头

幼体与成体形态相同。测量幼♂标本喉头的大小为33×16（毫米），喉口为20×5（毫米），其后上方有7行纵行排列伸向后方的棘状突，中间3列各有5个棘状突，长约5毫米，外侧4列每列各有5—8个棘状突不等，长约3.5毫米。环状软骨围绕喉口，本体部分呈半环状，上后方着生前述之棘状突，前下方呈舌尖状，半透明，中间

本文1989年3月8日收到，同年6月8日修回。

纵立一不等腰三角形的突起，大小为16×8（毫米）。杓状软骨和环状软骨之间具有弹性的肌肉膜。

从切片可见喉头最外层为较厚之复层鳞状上皮，表面有发达的角化层。在喉头稍后处，有大小不一的泡状粘液腺。上皮下为致密结缔组织（图版Ⅰ.1）。喉头的软骨已骨化，骨内有大而不规则的空腔，其中有少量的骨髓组织，还有血管、脂肪细胞、神经干以及少数淋巴小结分布（图版Ⅰ.2）。喉头背面的棘状突，周围覆有较厚的角化复层鳞状上皮，中轴为结缔组织（图版Ⅰ.3）。

2.气管

气管沿颈部下行，进入中空的胸骨龙骨突起前缘中，先向后，复折向前上方，从锁骨处返回再向后作一迴旋，然后沿龙骨突起前缘向上，从乌喙骨内侧进入胸腔(图1)。

气管的长度，幼鹤不及1米，成年鹤在1米以上。测量4个鹤的气管，见表1。

表1 白枕鹤气管的长度及有关参数

Tab. 1. Length of trachea and related parameters of White-naped Crane （单位：克，毫米）(Unit:g, mm)

性 别	体 重	全 长	气管长度	在龙骨突起中的长度	死亡日期	估计年龄*
幼 ♀	4150	1130	820	318	1981.12.16	6个月
幼 ♂	5450	1250	860	394	1982.2.17	8个月
成 ♂	4800	1342	1150	640	1982.3.1	
成 ♂	6100	1230	1240	680	1985.7.5	

* 按6月初雏鸟出壳推算年龄。

由表1可见，当年出生的幼鹤至冬季气管长已超过800毫米，伴随个体生长发育，气管也随之加长，其增长部分主要是龙骨突起内盘旋的这段气管。气管直径，进入龙骨突起前多为10毫米，在龙骨突起中可达12毫米。从龙骨突起进入胸腔后的气管变细，也变狭，而数量加多。成年鹤在第3盘曲部份的胸骨骨质疏松呈海绵状，空隙很大。幼鹤气管在龙骨突起中的盘曲程度不若成年鹤，成年鹤第1盘曲之后端接近胸骨的末端。

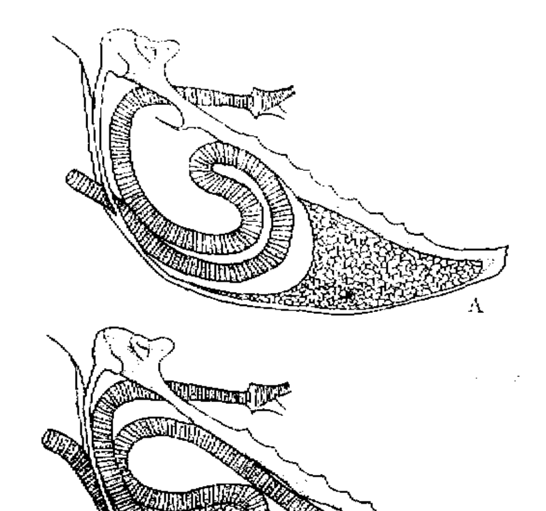


图1 气管在龙骨突起中的盘曲状态
Fig.1. The wind trachea in the keel
A.幼年 B.成年

显微镜下可见气管由粘膜、软骨纤维膜和外膜三部分组成。

（1）颈部：粘膜上皮无皱襞，为复层上皮，厚薄不一，与其他鸟类和家禽不完全相同（Marshall，1960；罗克，1983），上皮细胞界限不明显。未见明显的基膜。无粘膜肌层。软骨环较薄，绝大部分已骨化，内

有大小不一的腔隙并成为骨髓腔，其中含有少量骨髓组织和脂肪细胞。在已骨化的部分骨陷窝少、细小。幼鹤的气管软骨环在骨化进程中，基本上与成年鹤无明显差异。外膜为较厚的疏松结缔组织（图版Ⅰ．4）。

（2）胸骨内：结构与颈部基本相同，但软骨环骨化程度高，骨髓腔大。

（3）胸腔内：上皮层厚薄不一。软骨环的透明软骨在骨化进程中，骨髓腔很大，未骨化完善的软骨部分没有空腔。幼鹤气管软骨环正在骨化的部分居多。

3.鸣管

左右两个支气管特化为鸣管，其长度幼♂23毫米，成♂26毫米。鸣管左右侧扁，内侧壁为透明薄膜，即鸣膜；外侧壁略呈弧状，有15个软骨片支撑，整个鸣管自前向后由宽变窄，宽端15毫米，窄端8毫米，窄端分成三条膜状的扁管入肺。

在不同的染色切片上，可清晰地分辨出鸣管由两部分组成。内侧壁为鸣膜，主要由纤维结缔组织构成，其中有丰富的弹性纤维，还有胶元纤维。鸣膜的内腔面上皮细胞间夹有杯状细胞。鸣管外侧壁略呈弧状的软骨片中间已骨化，有骨髓腔，外面仍有部分未骨化的透明软骨（图版Ⅰ．5）。幼鹤软骨片未见有骨化现象，软骨囊明显。在鸣膜和外侧壁两端的连接处，有较厚的结缔组织，其中弹性纤维较多。

4.肺

成体♂肺湿重48克。肺的背面内侧因与脊柱两侧及肋骨相贴，故各具有7条肋沟（或7个椎肋的压迹）。肺的大小：左肺128×46（毫米），右肺137×41（毫米）。肺门在腹面中点稍前处。

在切片上，可见相邻的肺小叶之间呼吸毛细管互相通连、互相吻合，故小叶间结缔组织不完整。每条支气管管壁被许多辐射状排列的不规则的圆形或椭圆形的肺房穿通（图版Ⅰ．6）。肺房壁是不完整的单层扁平上皮，上皮下有弹性纤维。

5.气囊

整体染色铺片可见囊壁有少量胶元纤维和弹性纤维。外为浆膜。囊壁有较多的血管分布。

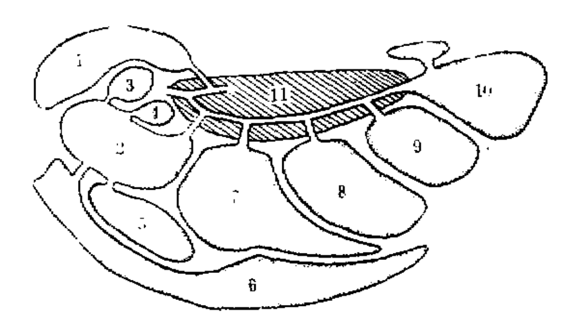


图2　气囊的形态及分布半模式图

Fig.2.　The form and distribution of air sacs

1.颈气囊　2.锁间气囊　3.肱骨气囊
4.腋下气囊　5.胸肌间气囊　6.龙骨气囊
7.前胸气囊　8.后胸气囊　9.前腹气囊
10.后腹气囊　11.肺

铸型标本（图版Ⅰ．7）显示的气囊形态及分布（图2）如下：

（1）颈气囊1对。由肺前部背侧次级支气管发出，在后部颈椎处发达，向前渐小，故呈长圆锥形，左侧114×29（毫米），右侧110×32（毫米），主要分布在后部颈椎间及颈椎的肌肉间、韧带间，有分支进入胸椎与肋骨间及骨腔内。

（2）锁间气囊1个。主体位于叉骨内侧，由肺前部腹侧次级支气管发出，呈不规

则形，分支多，计分出有：①肱骨气囊1对，位于肩胛骨部及肱骨腔，形状不规则，左侧59×35（毫米），右侧40×20（毫米）；②腋下气囊1对，位于腋下，三角形，左侧64×30（毫米），右侧32×25（毫米）；③胸肌间气囊1对，位于胸大肌与胸小肌之间，纺锤形，左侧88×25（毫米），右侧88×31（毫米）；④龙骨气囊1个，位于龙骨腔内，与气管伴行，长条形，194×35（毫米）。

（3）前胸气囊1对。位于前胸部两侧及腹面胸骨处，由肺下部次级支气管发出，呈三角形，左侧145×60（毫米），右侧113×70（毫米）。

（4）后胸气囊1对。位于后胸部两侧及腹面，前下方与前胸气囊接触，由肺部腹侧次级支气管发出，呈矩形，左侧89×42（毫米），右侧86×73（毫米）。

（5）前腹气囊1对。位于腹部两侧，由肺后部下方外侧处次级支气管发出，无分支，呈三角形，左侧86×76（毫米），右侧81×65（毫米）。

（6）后腹气囊1对。位于腹部及尾部，有分支到腰椎部、腰带及腿部肌肉间，由肺后部中级支气管发出，呈不规则形，左侧134×89（毫米），右侧131×90（毫米）。

讨　论

1.白枕鹤喉头的环状软骨上的三角形突起，可能有保护、支持喉口的作用。棘状突有高度角化的复层鳞状上皮，这与适应吞嚥食物磨擦有关。

2.从宏观和微观来看，白枕鹤的鸣管结构并不粗大，但气管随年龄而增长，成体的气管长度接近或等于全长，又在胸骨中盘曲形成谐振腔。当鸣膜振动时，气体通过此腔发生共鸣，故鸣声频率高，这也是鹤唳高吭宏亮的结构基础，有利于在高空飞翔时或在沼泽滩地中相互传递信息。通过对气管切片的观察，表明从幼年到成年气管的软骨环逐渐骨化，软骨环中的空腔也逐渐融合扩大并成为骨髓腔，这种变化，无疑可使白枕鹤的气管重量减轻，有利于飞翔生活。

3.白枕鹤的鸣管由左右两个支气管特化而成，左右侧扁、前宽后窄、内侧呈透明膜状并以膜状扁管入肺，形态大致与白头鹤、灰鹤相似，而与白鹤迥然不同（白鹤鸣管之后具有粗而圆的支气管入肺），这也从呼吸道形态结构上反映了它们在系统发生的进化谱系上分属两大不同类群的亲缘关系。

4.肺的长度在铸型标本为125毫米，约占躯干长的1/2。肺与躯体的比例，白枕鹤显然较家鸡大得多，虽然约有1/3的肺埋藏于肋间隙内，受周围结构的限制，扩张性不大，但由于肺的体积较大，故气体交换的面积也大。

5.从图版Ⅰ.7可见，白枕鹤的肺及气囊铸型标本的总轮廓，与除去羽毛后的躯干轮廓基本上是一致的，而且前胸气囊、后胸气囊和腹气囊的一部分向腹中线延伸并相遇成闭合状，整个躯干仅腹部一小部分不为气囊所覆盖，其面积为81×40（毫米），并在龙骨内有发达的气囊向后与气管共同伸展到龙骨突起的最后端，这种气囊的高度发达情况，与其高空飞翔生活相适应，而和家鸡或鸽比较，则有显著不同；如家鸡的胸腹部无气囊包绕，其铸型标本呈开放状；家鸡和鸽均无由锁间气囊分支伸向龙骨突起骨腔内形成的龙骨气囊等。

图 版 I 说 明

1.喉头切片示泡状粘液腺及骨化的软骨 (Section of throat to show vacuolar mucus glands and ossified cartilages) HA 3.3×10

2.喉头切片示淋巴小结 (Section of throat to show lymph nodules) HE 3.3×10

3.喉头切片示棘状突 (Section of throat to show spinose protrusion) HA 3.3×10

4.颈部气管横切面（幼鹤） (Section of throat across neck, Young) HA 3.3×10

5.鸣管横切面示鸣膜和外侧壁 (Cross section of syrinx to show Tympanic membrane and external lateral wall) HA 3.3×4

6.肺的切面示导管和呼吸性结构 (Section of lungs to show vessel and respiratory structure) HE 3.3×10

7.肺及气囊的铸型标本左侧面观（长285毫米，高148毫米） (Left side view of lung air sacs of a casting mould specimen, length 285mm, high 148mm)

参 考 文 献

王岐山、秦在贤、赵瑞珠 1986 四种鹤类鸣管的解剖观察。中国鹤类研究（文集）39—44页。黑龙江教育出版社。

王岐山、秦在贤、赵瑞珠 1986 白鹤呼吸道的解剖观察。中国鹤类研究（文集）125—132页。黑龙江教育出版社。

罗 克 1983 家禽解剖学与组织学。福建科技出版社。

〔美〕P.D. 斯托凯主编 1982 《禽类生理学》翻译组译校 禽类生理学。科学出版社。

Bligh, J. *et al.* 1976 Environmental Physiology of Animals. p. 186—189. Blackwell Scientific Publications. Oxford London Edinburgh Melbourne.

King, A. S., Mclelland, J. 1975 Outlines of Avian Anatomy. Chap. Ⅶ. p.43—64. Bailliere Tindall, London.

Marshall, A. J. 1960 Biology and Comparative Physiology of Birds. vol. 1, p. 363—409. Academic Press, New York and London.

THE RESPIRATORY SYSTEM OF WHITE-NAPED CRANE AND ITS ECOLOGICAL ADAPTATION

Wang Qishan (Anhui University, Hefei)
Qin Zaixian (Anhui Teachers' College, Hefei)
Zhao Ruizhu (Anhui University, Hefei)

5 dead White-naped Cranes were collected from Anhui Province during winter. 4 of them were anatomized to observe the macro and micro structures, another one was made into a casting mould specimen for the observation of the form and distribution of air sacs.

Throat Contains stratified pavement epithelium, dense connective tissue, striated muscle and cartilage. The cartilage is ossified and with large cavities. There are Lymph nodules within the connective tissue.

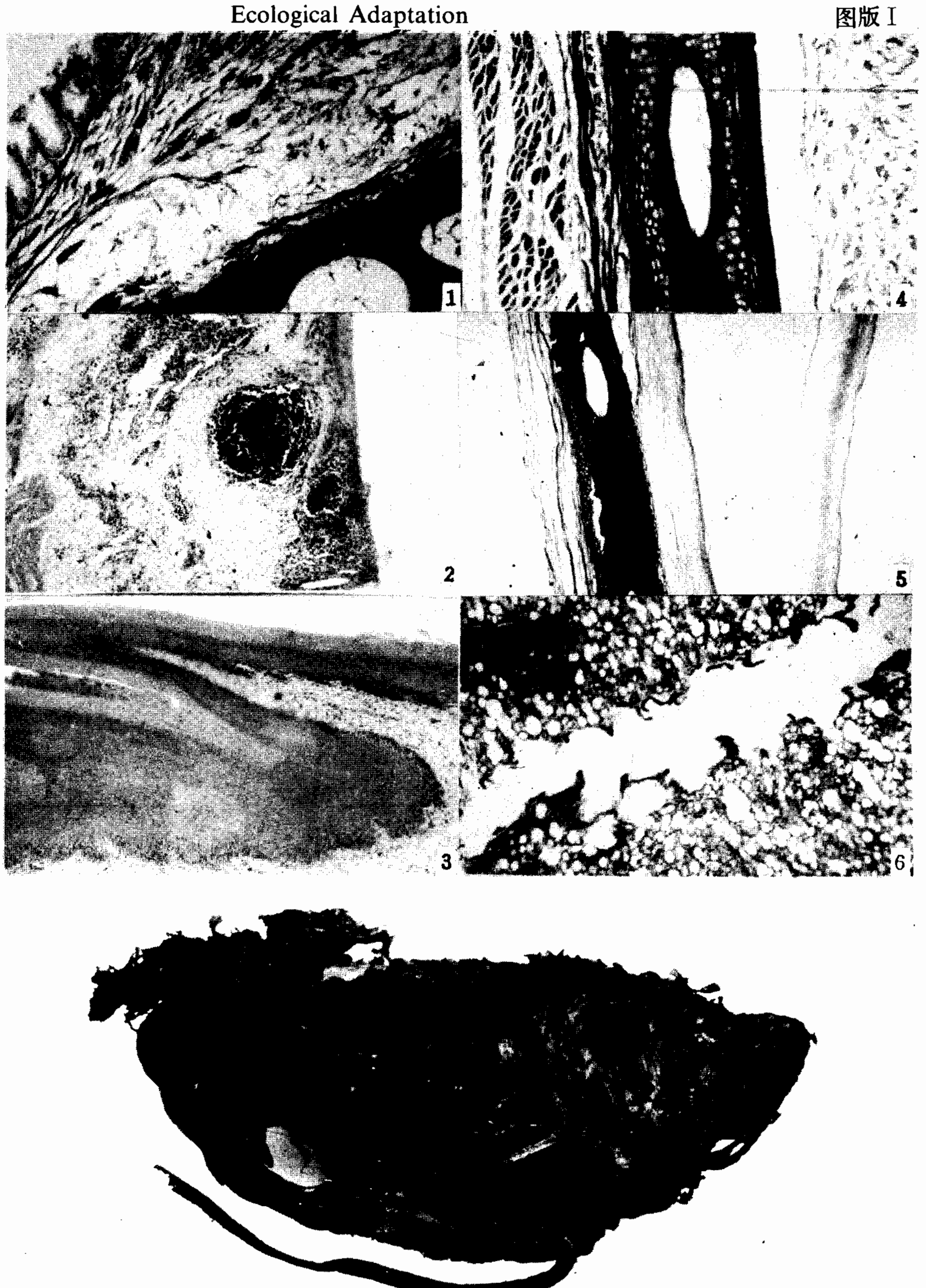
Trachea Winds within keel and lengthens with the bird growth (Fig. 1). It is composed of mucous membrane, fibracartilage membrane and membrana externa. The cartilage rings ossify gradually, the vacuities within it enlarge and fuse to form the marrow cavities.

Syrinx Comes from a pair of specialized bronchi. Its internal leteral wall is Tympanic membrane, mainly contains fibrous connective tissue, the middle part of cartilage of external lateral wall is ossified and with marrow cavities.

Lungs It is as half long as the body length.

Air sacs There are one pair of neck air sacs, one interclavicular air sac, one pair of prothoracic air sacs, one pair of metathoracic air sacs, one pair of proabdominal air sacs and one pair of postabdominal air sacs. Except for a small part in the abdomen (81mm×40mm), air sacs distribute all over the body and enclose throat and abdomen. The branches of interclavicular air sac stretch into the osseous lacuna of keel and form keel air sac. These are all different from those of chicken and doves.

Key words: White-naped Crane, Respiratory system, Syrinx, Air sac



(图版说明见正文)